

백두산 화산재 피해 시나리오에 따른 강원도 지역 농작물의 경제적 피해 추정

이윤정¹ · 김수도² · 천준석³ · 우 균^{3,4,*}

¹부산대학교 IT기반융합산업창의인력양성사업단, 609-735, 부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2

²부산대학교 사회급변현상연구소, 609-735, 부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2

³부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, 609-735, 부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2

⁴LG전자 스마트제어센터, 609-735, 부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2

Estimation of Economic Losses on the Agricultural Sector in Gangwon Province, Korea, Based on the Baekdusan Volcanic Ash Damage Scenario

Yun-Jung Lee¹, Su-Do Kim², Joonseok Chun³, and Gyun Woo^{3,4,*}

¹Creative Human Resource Development Program for IT Convergence, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²Research Institute for Social Criticality, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

³Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

⁴Smart Control Center of LG Electronics, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Abstract: The eastern coast of South Korea is expected to be damaged by volcanic ash when Mt. Baekdusan volcano erupts. Even if the amount of volcanic ash is small, it can be fatal on the agricultural sector withering many plants and causing soil acidification. Thus, in this paper, we aim to estimate agricultural losses caused by the volcanic ash and to visualize them with Google map. To estimate the volcanic ash losses, a damage assessment model is needed. As the volcanic ash hazard depends on the kind of a crops and the ash thickness, the fragility function of damage assessment model should represent the relation between ash thickness and damage rate of crops. Thus, we model the fragility function using the damage rate for each crop of RiskScape. The volcanic ash losses can be calculated with the agricultural output and the price of each crop using the fragility function. This paper also represents the estimated result of the losses in Gangwon province, which is most likely to get damaged by volcanic ashes in Korea. According to the result with gross agricultural output of Gangwon province in 2010, the amount of volcanic ash losses runs nearly 635,124 million wons in Korean currency if volcanic ash is accumulated over four millimeters. This amount represents about 50% of the gross agricultural output of Gangwon province. We consider the damage only for the crops in this paper. However, a volcanic ash fall has the potential to damage the assets for a farm, including the soil fertility and installations. Thus, to estimate the total amount of volcanic ash damage for the whole agricultural sectors, these collateral damages should also be considered.

Keywords: fragility functions, volcanic ash loss modeling, volcanic hazards, crops damage, Baekdusan volcano

*Corresponding author: woogyun@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-3518

Fax: +82-51-510-3939

요약: 백두산 화산 폭발 시 남한 지역은 동해안을 중심으로 화산재에 의한 피해가 예상된다. 적은 양의 화산재라고 할 지라도 농작물의 피해나 토양의 산성화를 유발하는 등 농업 분야에 심각한 영향을 줄 수 있다. 이에 이 논문에서는 화산재에 의한 농작물의 피해를 추정하고 구글 지도를 통해 시각화하고자 한다. 이를 위해서 화산재에 대한 피해 예측 모델이 필요하다. 화산재 위험은 농작물의 종류와 화산재 두께에 따라 다르므로 피해 예측 모델의 취약도 함수는 화산재 두께와 농작물의 손상을 간의 관계를 나타내어야 한다. 이 논문에서는 RiskScape에서 정의한 화산재 두께에 따른 농작물별 손상을 이용하여 취약도 함수를 정의하였다. 이 취약도 함수를 농작물 생산량과 가격 정보에 적용하여 화산재 두께에 따른 농작물 피해액을 추정할 수 있다. 또한, 이 논문에서는 화산재의 피해가 예측되는 강원도 지역을 대상으로 화산재에 의한 농작물 피해를 추정하였다. 연구 결과 2010년 강원도 농업 총 생산량을 기준으로 했을 때 화산재가 약 4 mm 정도 쌓이게 되면 농작물 피해액은 약 6,351억 원에 달하는 것으로 나타났다. 이는 강원도 총 농업생산액의 약 50%에 해당한다. 이 논문에서는 화산재에 의한 농작물의 1차적인 피해만을 고려하고 있다. 하지만 화산재는 토양 오염이나 시설물과 같은 농가의 자산에 잠재적인 위험을 줄 수 있다. 따라서 농업 분야 전체에 대한 총 피해 규모를 추정하기 위해서는 이와 같은 2차적인 피해도 함께 고려해야 할 것이다.

주요어: 취약성 함수, 화산재 피해 모델링, 화산재 위험, 농작물 피해, 백두산 화산

서 론

최근 세계 여러 나라에서는 지진이나 화산 분화와 같은 자연재해에 의한 경제적인 피해뿐만 아니라 사회적으로도 큰 피해를 보고 있다. 예로 2010년 아이슬란드 화산 폭발로 유럽 전역의 항공 대란과 경제적 피해가 발생하였다. 또한, 2011년 3월 일본 동북 지방에서는 대지진과 쓰나미 발생으로 후쿠시마(Fukushima) 제1원자력발전소가 폭발하는 사건이 발생하였다. 이 때문에 대량의 방사성 물질이 대기, 토양, 지하수, 해양 등으로 누출되어 현재 일본뿐만 아니라 전 세계적인 문제가 되고 있다.

특히 지진이나 화산 분화와 같은 재해는 그 피해가 재해 발생 지역에만 국한되지 않고 점차 그 규모가 대형화되고 광역화되고 있다(Kim, 2011). 이와 같은 자연재해가 발생하는 것은 불가항력이며 예측하는 것 또한 매우 어렵다. 따라서 자연재해가 발생하기 전에 취약한 지역이나 산업을 파악하고 피해 규모를 예측하여 자연재해의 피해를 최소화하는 것이 매우 중요하다.

우리나라는 일본과 인접해 있지만, 지진이나 화산과 같은 재해에는 비교적 안전한 것으로 인식되고 있으나 최근 백두산의 화산폭발 가능성에 대한 보도가 이어지면서 사회적으로 화산 재해에 관한 관심이 높아지고 있다. 지난 몇 년 동안 백두산 주변에서 화산성 지진이 2002년 이후 10배 이상 급증하였고 백두산 정상부가 매년 1 cm에서 4 cm씩 솟아오르며 고온의 화산가스 방출량이 급증하는 등 화산 분출 가능성이 점점 커지고 있기 때문이다(KMA, 2011b; Park and Yoo, 2011).

화산 폭발에 의한 직접적인 화산 재해는 크게 화쇄류와 화산 이류 및 홍수, 화산재, 쓰나미 등으로 화산 이류나 홍수와 같은 피해는 화산 분화 지역 인근에 집중된다. 2011년 기상청에서 발표한 백두산 화산 분화 시나리오에 따르면, 천 년 전의 규모로 백두산이 재분화한다면 지상에 영향을 줄 수 있는 화산분출물은 용암류가 최대 15 km 반경, 화성쇄설류 60 km 반경, 이류 180 km 이상, 암설류가 100 km 이내로 북한 지역과 중국 쪽에 직접적인 영향을 미칠 것으로 보인다. 남한 지역은 화산재의 확산이나 화산구름 등의 영향으로 공기 중의 미세먼지 농도가 강해지거나 항공기 운항 차질 등과 같은 간접적인 영향을 받을 것으로 예측하였다(KMA, 2011a).

2010년 아이슬란드 화산 분화 때와 같이 미세한 화산재는 분화 당시의 대기 조건에 따라 아주 먼 지역까지 확산될 수 있어 다른 재해들보다 피해 범위가 넓다. 백두산 화산 분화 시에 한반도 주변으로 북풍이나 북동풍이 발달하는 기상조건이 형성되면 남한 지역도 화산재의 영향을 받을 가능성이 높다. 백두산 분화에 따른 화산재 확산의 모의실험에서도 백두산 분화에 의한 화산재는 충분히 한반도에 영향을 미칠 수 있으며 한반도에 유입된 화산재 대부분이 동해안 연안에 집중되는 것으로 나타났다(Lee and Yun, 2011; Lee et al., 2012).

화산재는 농작물 및 식생을 파괴하고 토양 및 지하수 오염시켜 농업 분야에 큰 피해를 줄 수 있다. 화산재가 농작물에 닿으면 농작물이 마르고 농작물에 부착된 화산재를 제거하기 어려워 수확량이 줄어들 뿐만 아니라 농지에 쌓이게 되면 토양의 산성화를

일으켜 이후로도 오랜 기간 경작이 불가능해져 지속적인 피해가 발생한다. 특히 화산재 일부가 성층권 내에 남아 있으면 태양복사를 차단하여 전 지구의 기온을 하강시키므로 다음 해에도 기후 한랭화로 농작물의 생산에 막대한 피해까지 유발할 가능성이 존재한다(KMA, 2011b).

농업 분야에서 화산재의 피해 사례는 세계 여러 나라에서 찾아볼 수 있다. 전 세계에서 지진이나 화산활동이 가장 많은 나라인 일본은 2011년 신모에다케(Shinmoedake) 화산 폭발로 564 km² 농경지에 화산재가 쌓여 농작물과 농가가 큰 피해를 보았다(Magill et al., 2013). 또한 뉴질랜드에서는 1995년 10월과 1996년 6월에 라페후(Ruapehu) 화산이 폭발하여 농업 분야에서 약 US 10,100만 달러의 손실을 보았다(Munro and Parkin, 1999; Neild et al., 1998; Wilson and Kaye, 2007). 이 외에도 뉴질랜드, 미국, 인도네시아 등의 나라에서도 화산 폭발에 따른 농업 분야의 피해 사례가 보고되었다(Alberger et al., 1980; Clynne et al., 2005; Wilson et al., 2007). Table 1은 지금까지 살펴본 나라별 화산 폭발에 따른

농업분야 피해 범위와 피해액을 정리한 것이다.

세계 여러 나라에서는 자연재해의 피해를 최소화하기 위해 사전 예측을 통해 피해액을 추정하고 피해를 최소화하기 위한 방재대책을 강화하고 있다. 미국은 재난 예측 프로그램인 HAZUS-MH를 개발하여 허리케인, 지진, 홍수의 피해를 추정하고 그에 따른 예방활동을 강화하고 있다(FEMA, 2003; KICP, 2008). 또한 뉴질랜드는 RiskScape를 개발하여 여러 종류의 자연재해에 의한 피해를 예측하는데 사용하고 있다(Wilson and Kaye, 2007). 10세기경 백두산 화산 폭발 시 화산재가 일본 동북부 지역까지 5 cm 내외의 두께로 쌓였던 것을 고려할 때, 만약 백두산 화산이 폭발한다면 화산재의 피해 규모가 어느 정도 발생할 것인지 추정할 수 있는 사전 예측 자료가 필요하다(KMA, 2011b; Soh and Yun, 1999).

이 논문에서는 한반도에서 화산재의 영향이 클 것으로 예상되는 강원도 지역의 농작물 피해액을 추정하고자 한다. 화산재의 농작물 피해를 추정하기 위해서 강원도 지역의 농업 총 생산량을 바탕으로 뉴질랜드에서 화산재 피해 산정을 위해 개발한 RiskScape

Table 1. Summary of agricultural losses and damage areas for the past volcanic eruptions

Volcano	Year	Damage area (km ²)	Agricultural losses (USD million)	etc
United States				
St. Helens	1980	57,000*	192*	<ul style="list-style-type: none"> • The details of agricultural losses • Ellensburg: USD 1.06 million • Ritzville: USD 11.67 million • Cheney: USD 1 million
New Zealand				
	1995	40,000		NZD 130 million
Ruapehu	1996	1,000	100	<ul style="list-style-type: none"> The details of agricultural losses • Losses of 1700 dairy farm: NZD 1.0-1.3 million • Losses of Gisborne's Cauliflower farm: NZD 250,000
Indonesia				
Merapi	2010	19,870**	15.5**	<ul style="list-style-type: none"> Rp 140 billion The details of damage areas • 14,000 km² of snake fruit field • 700 km² of vegetable plantation areas • 3,470 km² coffee and coconut plantation • 1,700 km² rice fields
			35***	<ul style="list-style-type: none"> The details of agricultural losses • Magelang: Rp 247 billion • Boyolali: Rp 24 billion • Klaten: Rp 24 billion
Japan				
Shinmoe-dake	2011	564	15.5	JPY 1,204 million

* Washington ** Selman *** The others

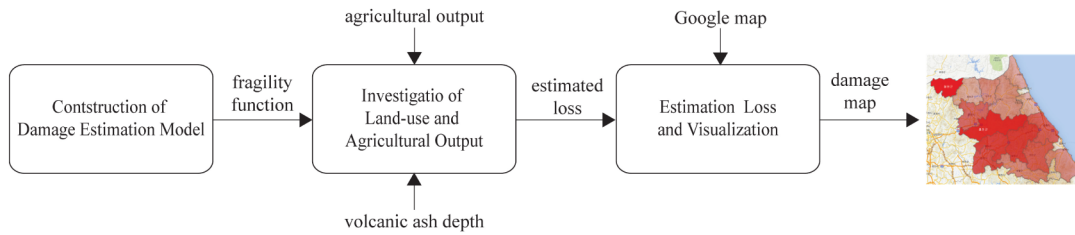


Fig. 1. The structure of damage estimation for agricultural sector from volcanic ash.

의 농작물 취약성 함수를 적용한다. 또한, 강원도 지역의 행정구역별 농작물 피해 추정액을 구글 지도를 이용하여 시각화함으로써 화산재의 피해 정도를 직관적으로 파악할 수 있도록 한다.

자료 및 연구 방법

농업 분야에서 화산재의 피해는 생산 작물의 상품성이 떨어져서 발생하는 1차적인 피해와 토양이 산성화되어 화산 폭발 후 오랜 기간 경작이 불가능해지는 것과 같은 2차적인 피해로 구분해 볼 수 있다. 이 논문에서는 백두산 화산 폭발 시 화산재의 피해가 예상되는 강원도 지역의 농작물에 대한 화산재의 피해를 추정하고자 한다. Fig. 1은 화산재에 대한 농작물 피해 예측 방법의 전반적인 구성을 보여준다.

농작물에 대한 화산재의 피해액을 추정하기 위해 뉴질랜드에서 개발한 재난 피해 예측 시스템인 RiskScale에서 사용하는 농작물별 취약도 함수를 사용하였다. 그리고 최종 산출된 피해 금액을 구글 지도를 이용하여 시각화하였다.

강원도지역의 토지 이용 및 농작물 생산 현황

강원도는 백두산 화산과의 거리가 약 500 km 정도로 백두산 화산 분화 시 화산재의 피해가 예상되는 곳이다. Fig. 2는 국토교통부에서 제공하는 2010년도 강원도 지역의 토지 피복도로 대부분은 산림지역이고 서북부지역에 주로 경작지가 분포되어 있다.

농업 분야에서 화산재의 1차적인 피해는 주로 농작물이나 경작지 주변의 식생파괴 등을 들 수 있다. 따라서 강원도 지역 중에서 경작지가 많이 분포된 서북부 지역에 화산재의 피해가 클 것으로 추정된다. Table 2는 강원도 지역의 경작지 분포를 정리한 것이다. 강원도 서북부 지역인 철원군(12.19%)과 홍천군(11.10%), 횡성군(9.06%)에 경작지가 주로 분포되어 있다.

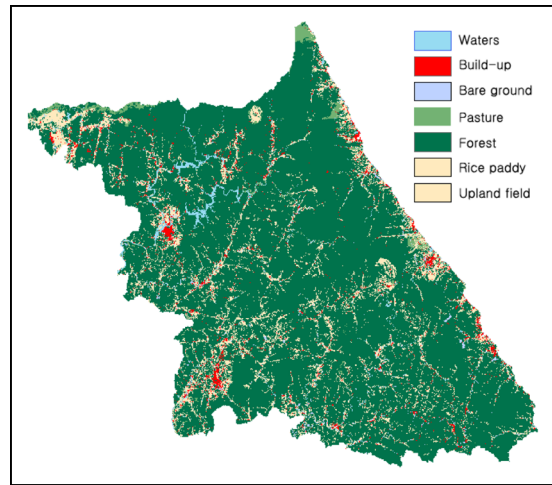


Fig. 2. The land covering map of Gangwon province, Korea in 2010.

농작물 분류 기준과 화산재에 따른 취약도 함수를 강원도 지역의 농작물에 적용하기 위하여 강원도 지역에서 1년 동안 생산되는 모든 농작물의 총 생산량을 조사하였다. Table 3은 통계청에서 발표한 2010년 강원도 지역 농작물 총 생산량을 보여준다.

Table 3에서 보듯이 2010년 강원도 지역의 농업 생산물 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 쌀로 약 17만 톤이 생산되었고 금액으로 환산하면 약 3,429억 원에 해당한다. 이것은 2010년 강원도 농업 총생산액의 약 26.56%에 해당한다. 그다음 비중이 높은 작물은 배추와 감자로 각각 강원도 농업 총생산액의 약 9.47%와 7.51%를 차지한다.

연구 방법

피해 예측 모델

세계 여러 나라에서 지진, 홍수와 같은 자연재해로 큰 피해가 발생하고 있지만, 아직 재난에 대한 피해

Table 2. The distribution of the agricultural land in Gangwon province in 2010

City	Total Area (ha)	Ratio (%)	Rice paddy		Upland field	
			Area (ha)	Ratio (%)	Area (ha)	Ratio (%)
Chuncheon	7,062	6.35	2,394	5.54	4,668	6.87
Wonju	9,030	8.12	4,466	10.34	4,564	6.71
Gangneung	7,928	7.13	3,422	7.92	4,506	6.63
Donghae	1,006	0.90	295	0.68	711	1.05
Taebaek	1,011	0.91	3	0.01	1,008	1.48
Sokcho	611	0.55	421	0.97	190	0.28
Samcheok	4,676	4.21	1,082	2.51	3,594	5.29
Hongcheon	12,335	11.10	4,215	9.76	8,120	11.94
Hoengseong	10,075	9.06	3,667	8.49	6,408	9.43
Yeongwol	6,639	5.97	886	2.05	5,753	8.46
Pyeongchang	9,621	8.65	764	1.77	8,857	13.03
Jeongseon	7,301	6.57	425	0.98	6,876	10.11
Cheorwon	13,553	12.19	11,050	25.58	2,503	3.68
Hwacheon	3,285	2.95	1,123	2.60	2,162	3.18
Yanggu	5,076	4.57	2,056	4.76	3,020	4.44
Inje	4,387	3.95	1,150	2.66	3,237	4.76
Goseong	4,142	3.73	3,464	8.02	678	1.00
Yangyang	3,434	3.09	2,307	5.34	1,127	1.66
Gangwon	111,172	100.00	43,190	100.00	67,982	100.00

Table 3. Gross agricultural output of Gangwon province in 2010

crops	output (t)	values (million won)	ratio (%)	crops	output (t)	values (million won)	ratio (%)
Fruit vegetables				Root vegetables			
rice	176,156	342,983	26.54	sweet potato	39,629	64,556	5.00
barley	413	491	0.04	daikon (spring)	48,578	53,436	4.14
buckwheat	33,794	54,408	4.21	daikon (high land)	50,425	25,490	1.97
oriental melon	196	367	0.03	carrot	4,817	5,462	0.42
strawberry	1,426	6,591	0.51	potato	114,826	97,028	7.51
cucumber	31,055	41,272	3.19	onion	2,139	1,212	0.09
pumpkin	45,003	95,811	7.41	galic	2,944	26,864	2.08
tomato	39,567	66,334	5.13	Tree crops			
dried chiles	7,049	62,525	4.84	apple	1,522	4,472	0.35
green chiles	30,283	66,653	5.16	pear	2,100	4,332	0.34
bean	12,189	39,212	3.03	peach	5,717	18,580	1.44
water melon	3,186	7,315	0.57	persimmon	1,970	19,590	1.49
Leaf vegetables				plum	817	858	0.07
chinese cabbage	203,569	122,345	9.47	Grapes			
spinach	1,927	10,190	0.79	grape	3,505	8,416	0.65
lettuce	2,907	10,366	0.80				
spring onion	19,785	23,636	1.83				
cabbage	27,529	11,397	0.88				

규모를 추정하고 평가하기 위한 시스템 개발은 미흡한 실정이다. 자연재해에 대한 대표적인 피해 예측 시스템으로 HAZUS-MH를 들 수 있다. HAZUS-MH는 미국 FEMA (The Federal Emergency Management Agency)에서 개발한 시스템으로 허리케인과 지진, 홍

수 등의 재해피해 규모를 추정하고 평가하기 위한 프로그램이다. HAZUS-MH는 농작물의 종류와 단위 가격, 수확 비용, 평균 산출량 등의 관련 정보에 농업 피해 산정 모형(AGDAM; Agriculture Damage Assessment Model)을 적용하여 재난에 따른 피해액

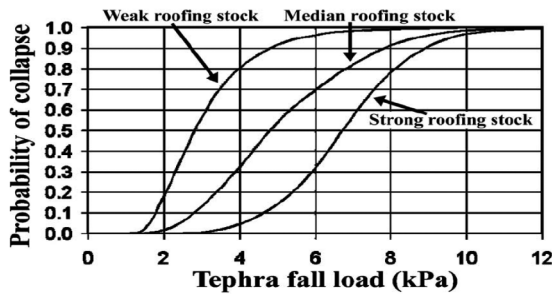


Fig. 3. Example of a ‘fragility function’ for roof collapse probability with volcanic ash loading (Spence et al., 2005).

을 계산한다(KICP, 2008; FEMA, 2003). 그러나 HAZUS-MH의 경우 화산폭발이나 화산재에 대한 피해 예측은 지원되지 않고 있다.

화산재에 대한 피해 예측 시스템으로는 RiskScape를 들 수 있다(Wilson and Kaye, 2007). RiskScape는 뉴질랜드의 GNS Science와 NIWA (The National Institute of Water and Atmospheric Research)에서 개발한 뉴질랜드의 재해 영향 분석과 평가를 위한 시스템이다. 이 시스템은 다양한 형태의 자연재해로부터 피해를 볼 수 있는 대상(사람, 빌딩, 인프라, 농업 등)별로 재난에 대한 취약성 곡선을 정의하고 이를 이용하여 피해액을 추정한다. 취약성 곡선은 사람, 빌딩, 인프라, 농업과 같은 세부 대상이 재난에 어느 정도 취약한가를 위험의 강도와 피해 정도의 관계로 정량화한 것이다. Fig. 3은 취약성 곡선의 예로 화산재에 의한 주거용 건물지붕의 붕괴 확률을 보여준다.

Fig. 3에서는 쌓인 화산재의 압력에 대한 건물 지붕의 상태를 강(strong), 중(median), 약(weak)으로 구분하고 지붕의 붕괴 확률을 취약성 곡선으로 표시하고 있다. 만약 화산재의 압력이 6 kPa일 때 강한 지붕이 붕괴될 확률은 약 30%이고, 약한 지붕일 경우는 붕괴될 확률이 90%를 넘어 극히 위험 상태임을 알 수 있다.

RiskScape는 위험 강도에 따른 손실률을 3개 점(1, 20, 90% 위험)을 이용하여 정의하고, 식 1과 같이 와이블(Weibull) 곡선에 적합화하여 취약성 곡선을 정의한다.

$$Loss(x) := \begin{cases} V < V_{20}, & 1 - \exp(-x/\exp(\beta_1))^{1/\alpha_1}, \\ & 1 - \exp(-x/\exp(\beta_2))^{1/\alpha_2} \end{cases} \quad (1)$$

where,

$$\alpha_1 = \frac{\ln\left(\frac{V_{20}}{V_{01}}\right)}{\ln\left(\frac{-\ln(1-DI_{20})}{-\ln(1-DI_{01})}\right)} \quad \beta_1 = \ln\left(\frac{V_{20}}{(-\ln(1-DI_{20}))^{\alpha_1}}\right)$$

$$\alpha_2 = \frac{\ln\left(\frac{V_{90}}{V_{20}}\right)}{\ln\left(\frac{-\ln(1-DI_{90})}{-\ln(1-DI_{20})}\right)} \quad \beta_2 = \ln\left(\frac{V_{90}}{(-\ln(1-DI_{90}))^{\alpha_2}}\right)$$

식 (1)에서 V_{01} 는 1% 손실($DI_{01}=0.01$), V_{20} 는 20% 손실($DI_{20}=0.20$), 그리고 V_{90} 는 90% 손실($DI_{90}=0.90$)을 발생시키는 위험 강도를 나타낸다(Wilson and Kaye, 2007).

피해액 추정 방법

화산재로 인해 어느 정도의 손상을 입는지는 식물마다 다르므로 화산재에 대한 농작물의 피해를 예측하기 위해서는 작물에 따라 화산재 손상도를 각각 고려해야 한다. 우리나라에 화산재로 인해 직접 피해를 본 사례가 근대에 발생하지 않았으므로 농작물의 손상 정도는 외국 사례로 추정할 수밖에 없다. 따라서 이 논문에서는 RiskScape에서 정의한 화산재에 대한 농작물별 취약성 함수를 이용하여 농작물 피해액을 계산하였다.

Table 4는 RiskScape에서 정의한 화산재 두께에 따른 농작물 분류별 손상률을 정리한 것이다. 각각의 농작물을 사용 부위에 따라 잎채소, 열매채소, 뿌리채소, 나무열매, 포도류로 분류하고 각 그룹에 대해 다른 손상률을 적용하였다.

Table 4에서 잎채소와 열매채소는 거의 비슷한 손상률을 보이고 있으며, 감자와 당근 같은 뿌리채소는 실제 사용되는 부분이 땅속에 묻혀 있으므로 다른 작물에 비해서 화산재에 대한 손상률이 낮은 것을 알 수 있다. 뉴질랜드는 포도 재배 면적이 넓어 따로 분류하고 있으며 화산재가 부착되었을 때 제거하기가 어려워 손상률이 가장 높게 정의되었다.

앞서 설명한 바와 같이 RiskScape에서는 각 농작물 그룹에 대해 화산재에 대한 손상률 1, 20, 90%일 때의 화산재 두께를 정의하였다. 이 세 점의 값을 와이블 곡선으로 적합화하여 화산재 두께에 따른 취약도 함수를 생성하였다. Fig. 4는 화산재 두께에 따른 농작물별 취약도 곡선을 보여준다.

Table 4. Damage ratios of each classification of agricultural production depending on the thickness of volcanic ash (Wilson and Kaye, 2007)

Classification	Crops	Damage ratio	Ash thickness (mm)
Leaf vegetables	Lettuce, spinach, silver beet	0.01	1
		0.20	2
		0.90	10
Fruit vegetables	Broccoli, peas, strawberries, rice, barley	0.01	1
		0.20	3
		0.90	10
Root vegetables	Potatoes, carrots	0.01	5
		0.20	30
		0.90	100
Tree crops	Apples, stone fruit, citrus	0.01	1
		0.20	3
		0.90	20
Grape	grapes	0.01	1
		0.20	2
		0.90	5

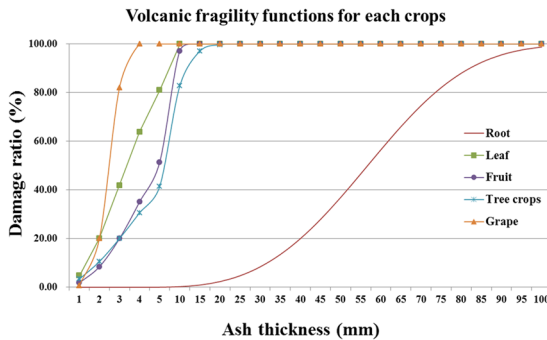


Fig. 4. Volcanic fragility functions for the classifications of the crops.

Fig. 4에서 뿌리채소를 제외한 나머지 부류의 작물들은 차이가 있기는 하지만 적은 양의 화산재가 쌓이더라도 피해 정도가 심각함을 알 수 있다. 반면에 뿌리채소는 20 mm 이하의 두께에서는 피해가 크지 않음을 알 수 있다.

연구 결과

RiskScape는 농장별로 농장의 면적과 작물별 손상함수 그리고 각 작물의 헥타르 당 가격을 이용해서 농작물 피해액을 계산하였다. 이 논문에서는 농작물별 재배 면적 대신 지역별 농작물의 생산량을 이용하여 피해액을 추정하였다. 강원도의 시군별 농업 피

해액은 농작물 생산량과 농작물의 가격, 손상함수를 이용하여 식 2와 같이 계산할 수 있다.

$$Loss_n = \sum_{i=1}^m (F_i(t) \cdot O_i \cdot V_i) \quad (2)$$

여기서 n 은 지역을 나타내고, $Loss_n$ 은 n 지역의 총 피해액을 나타낸다. 또한 $F_i(t)$ 와 O_i , V_i 는 각각 농작물의 손상함수, 총 생산량, 가격을 나타낸다.

Table 5는 2010년 강원도 지역의 시군별 생산량과 손상함수를 이용하여 추정된 피해액을 정리한 것이다.

Table 5에서 화산재가 1 mm 쌓이면 강원도 농작물의 피해액은 약 470억 원으로 강원도 지역 농업 총생산 금액의 약 3.67%에 해당한다. 화산재가 약 4 mm 정도 쌓이게 되면 피해액이 6,351억 원으로 농업 총생산액의 약 50%에 달한다. 이 결과로 볼 때 적은 양의 화산재가 쌓이더라도 농업 부분에서는 피해가 클 것으로 추정해 볼 수 있다.

Table 5와 같이 얻어진 시군별 피해액을 좀 더 직관적으로 표현하기 위해 구글 지도를 이용하여 시각화하였다. Fig. 5는 구글 지도와 수자원공사에서 제공하는 강원도 지역의 행정구역 지도를 이용하여 농업분야 피해액을 시각화한 피해 예측도를 보여준다. Fig. 5는 강원도 지역에 화산재가 4 mm 쌓였을 때의 농업 분야 피해를 시각화한 결과로 붉은색이 진할수록 피해액이 큰 것을 의미한다. 이와 같은 피해 예측도를 통해 철원군과 홍천군이 농업분야 피해가 가장 큰 것을 직관적으로 파악할 수 있다.

결 론

미국의 세인트헬렌스 화산 분화 시 313 km 떨어진 지역까지 5 cm의 화산재가 쌓였고 뉴멕시코와 로키산맥까지 화산재가 퍼졌듯이 화산재는 기후와 바람의 방향에 따라 그 피해 지역과 범위가 크게 달라진다. 만약 백두산 화산 분화 시 서고동저형의 기압배치가 형성되면 화산재가 남한 지역으로 확산될 가능성이 높다. 따라서 사전에 화산재에 의한 지역별 피해 규모를 예측하고 피해액이 클 것으로 예상되는 지역에 대한 대비가 필요하다.

이 논문에서는 백두산 화산이 분화하였을 때를 가정하고 화산재에 따른 강원도 지역의 농작물 피해액을 추정하고 시각화하였다. 강원도는 한반도에서 백두산과 약 500 km 거리에 위치해 화산재의 피해가

Table 5. The estimated amount of the crop damages from the volcanic ash in Gangwon province in 2010 (unit: million won)

City	Depth of volcanic ash (unit: mm)								
	1	2	3	4	5	10	30	50	
Chuncheon	2,990	12,502	26,321	40,025	50,692	63,659	65,877	71,240	
Wonju	3,776	15,794	33,209	50,540	64,025	80,089	82,267	87,510	
Gangneung	3,341	13,973	29,394	44,720	56,647	70,969	73,115	78,292	
Donghae	444	1,855	3,905	5,938	7,521	9,449	9,787	10,603	
Taebaek	461	1,925	4,062	6,169	7,809	9,875	10,352	11,510	
Sokcho	207	864	1,816	2,765	3,503	4,368	4,459	4,678	
Samcheok	2,021	8,445	17,795	27,046	34,250	43,114	44,819	48,948	
Hongcheon	5,157	21,559	45,393	69,025	87,420	109,799	113,657	122,986	
Hoengseong	4,280	17,893	37,663	57,281	72,550	91,044	94,091	101,453	
Yeongwol	2,958	12,357	26,053	39,584	50,121	63,210	65,936	72,546	
Pyeongchang	4,301	17,966	37,896	57,561	72,879	92,027	96,222	106,397	
Jeongseon	3,299	13,779	29,067	44,148	55,895	70,601	73,856	81,756	
Cheorwon	5,963	24,977	52,361	79,830	101,181	125,457	126,693	129,569	
Hwacheon	1,353	5,657	11,912	18,112	22,939	28,818	29,845	32,329	
Yanggu	2,089	8,735	18,384	27,962	35,418	44,421	45,857	49,327	
Inje	1,841	7,696	16,214	24,646	31,210	39,279	40,815	44,534	
Goseong	1,580	6,620	13,877	21,157	26,816	33,253	33,587	34,366	
Yangyang	1,391	5,821	12,221	18,616	23,589	29,376	29,919	31,214	
total amount	47,451	198,416	417,543	635,124	804,466	1,008,809	1,041,157	1,119,260	
ratio	3.67%	15.36%	32.31%	49.15%	62.26%	78.07%	80.57%	86.62%	

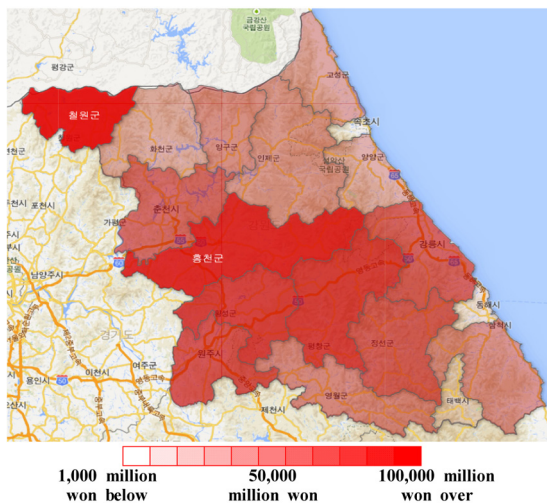


Fig. 5. The visualization result of the damage estimation from the volcanic ash in Gangwon province in 2010.

높을 것으로 예상된다. 또한, 농업분야는 적은 양의 화산재에도 큰 영향을 받게 되므로 화산재 두께에 따른 농작물 피해 규모를 예측하는 것이 중요하다. 따라서 이 논문에서는 이를 추정하기 위해 뉴질랜드의 피해 예측 프로그램인 RiskScape에서 정의한 화산재에 따른 농작물별 취약성 함수를 사용하였다. 연

구 결과를 보이기 위해 2010년도 강원도 지역의 시군별 경작지 면적, 농작물 생산량, 그리고 작물 가격 데이터를 이용하였고, 화산재 두께에 따른 농작물의 피해액을 추정하였다.

추정 결과에 따르면 만약 화산재가 1 mm 정도 쌓이면 2010년도 강원도 지역 농작물 생산량을 기준으로 했을 때, 농작물의 피해액은 약 470억 원으로 강원도 지역의 총 농업 생산액의 약 3.67%에 해당하는 것으로 나타났다. 또 화산재가 4 mm가 쌓이게 되면 총 농업 생산액의 50%, 화산재가 10 mm가 쌓이게 되면 그 피해액은 농업 총생산액의 약 80%로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 강원도 지역 시군별로 보면 경작지 비중이 가장 큰 철원군의 피해액이 가장 크게 나타났으며 전체 피해액의 약 12% 정도를 차지하였다.

이와 같은 연구결과를 볼 때 적은 양의 화산재가 쌓이더라도 농작물의 피해액은 매우 클 것으로 예측되었으며, 농업 생산량의 급감으로 물가가 상승하거나 토양 산성화에 의한 경작지 손실과 같은 2차 피해까지 고려한다면 그 피해는 더욱 커질 것으로 예상된다. 현재는 백두산 화산 분화에 따른 화산재 확산 범위와 화산재의 양을 고려하지 않고 화산재 두께에 따른 농작물의 피해액을 계산하고 있지만 향후

연구로 화산재 확산 시물레이션을 통한 지역별 화산재 강하 정도를 고려하여 더 정확한 피해 예측이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청의 백두산화산대응기술개발사업인 ‘화산재해 피해예측기술개발’ [NEMA-백두산-2012-1-3] 과제의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Alberger, B., Calhoun, M.J., Bedell, G.M., and Stern, P., 1980, The economic effects of the eruptions of Mt. St. Helens. USITC publication 1096, Washington D.C., USA, 83 p.
- Clynne, M.A., Ramsey, D.W., and Wolfe, E.W., 2005, Pre-1980 eruptive history of mount St. Helens, Washington. US Geological Survey, 4 p.
- FEMA, 2003, Hazus-MH flood technical manual. Department of homeland security federal emergency management agency mitigation division Washington, D.C., USA, 569 p.
- KICP, 2008, Evaluation system of improvement measures (1). Ministry of land, infrastructure and Transport, 297 p. (in Korean)
- Kim, C.H., 2011, Fukushima Daiichi nuclear power disaster and its impact-Japan diet report. Nuclear industry, 40-53. (in Korean)
- KMA, 2011, Eruption scenarios of the Baekdusan volcano. Korea Meteorological Administration, 4 p. (in Korean)
- KMA, 2011, The comprehensive plan for the prevention and mitigation of volcanic ash. Korea Meteorological Administration, 92 p. (in Korean)
- Lee, S.H., Jang, E.S., and Lee, H.M., 2012, A case analysis of volcanic ash dispersion under various volcanic explosivity index of the Mt. Baegdu. Journal of Korean earth science society, 33, 280-293. (in Korean)
- Lee, S.H. and Yun, S.H., 2011, Impact of meteorological wind fields average on predicting volcanic tephra dispersion of Mt. Baekdu. Journal of Korean earth science society, 32, 360-372. (in Korean)
- Magill, C., Wilson, T., and Okada, T., 2013, Observations of tephra fall impacts from the 2011 shinmoedake eruption. Earth planets space, Japan, 677-698.
- Munro, A. and Parkin, D., 1999, Volcanic risk mitigation plan, Environment Waikato policy series 1999/10. Environment Waikato, New Zealand, 76 p.
- Neild, J., O'Flaherty, P., Hedley, P., Underwood, R., Johnston, D., Christenson, B., and Brown, P., 1998, Impact of a volcanic eruption on agriculture and forestry in New Zealand. MAF policy technical paper 99/2, 101 p.
- Park, C.Y. and Yoo, C.S., 2011, The effect of the Baekdusan volcano eruption on ours. Korean society of hazard mitigation, 11, 73-82. (in Korean)
- Spence, R.J.S., Kelman, I., Baxter, P.J., Zuccaro, G., and Petrazzuoli, S., 2005, Residential building and occupant vulnerability to tephra fall. Natural Hazards and Earth System Sciences 5, 477-494.
- Soh, W.J. and Yun, S.H., 1999, A review of the holocene major eruption of Mt. Paektu volcano. Journal of Korean earth science society, 20, 534-543. (in Korean)
- Wilson, T.M. and Kaye, G.D., 2007, Agricultural fragility estimates for volcanic ash fall hazards. GNS science report 2007/37, 51 p.
- Wilson, T.M., Kaye, G.D., Stewart, C., and Cole, J., 2007, Impacts of the 2006 eruption of Merapi volcano, Indonesia, on agriculture and infrastructure. GNS science report 2007/07, 69 p.

2013년 9월 23일 접수
2013년 10월 7일 수정원고 접수
2013년 10월 12일 채택